

**OM
ÖSTERSJÖVATTNETS ANVÄNDBARHET
FÖR BEVATTNINGSÄNDAMÅL**

ULRICH NITSCH

STENCILTRYCK NR 35

**INSTITUTIONEN FÖR LANTBRUKETS HYDROTEKNIK
UPPSALA 1967**

Om östersjövattnets användbarhet för bevattningsändamål

- I Östersjövattnets koncentration och sammansättning
- II Effekter på marken - rotmiljön vid bevattning med östersjövatten
 - a) Markvätskans saltkoncentration
 - b) Markens sammansättning av lösta och utbytbara joner
- III Effekter på grödan vid bevattning med östersjövatten
 - a) Grödans reaktion i en saltpåverkad rotmiljö
 - b) Grödors salttolerans
 - c) Avkastningen i svenska vallförsök
- IV Östersjövattnets användbarhet för bevattningsändamål mot bakgrund av utländska erfarenheter
- V Sammanfattning
- VI Litteraturförteckning

Om östersjövattnets användbarhet för bevattningsändamål

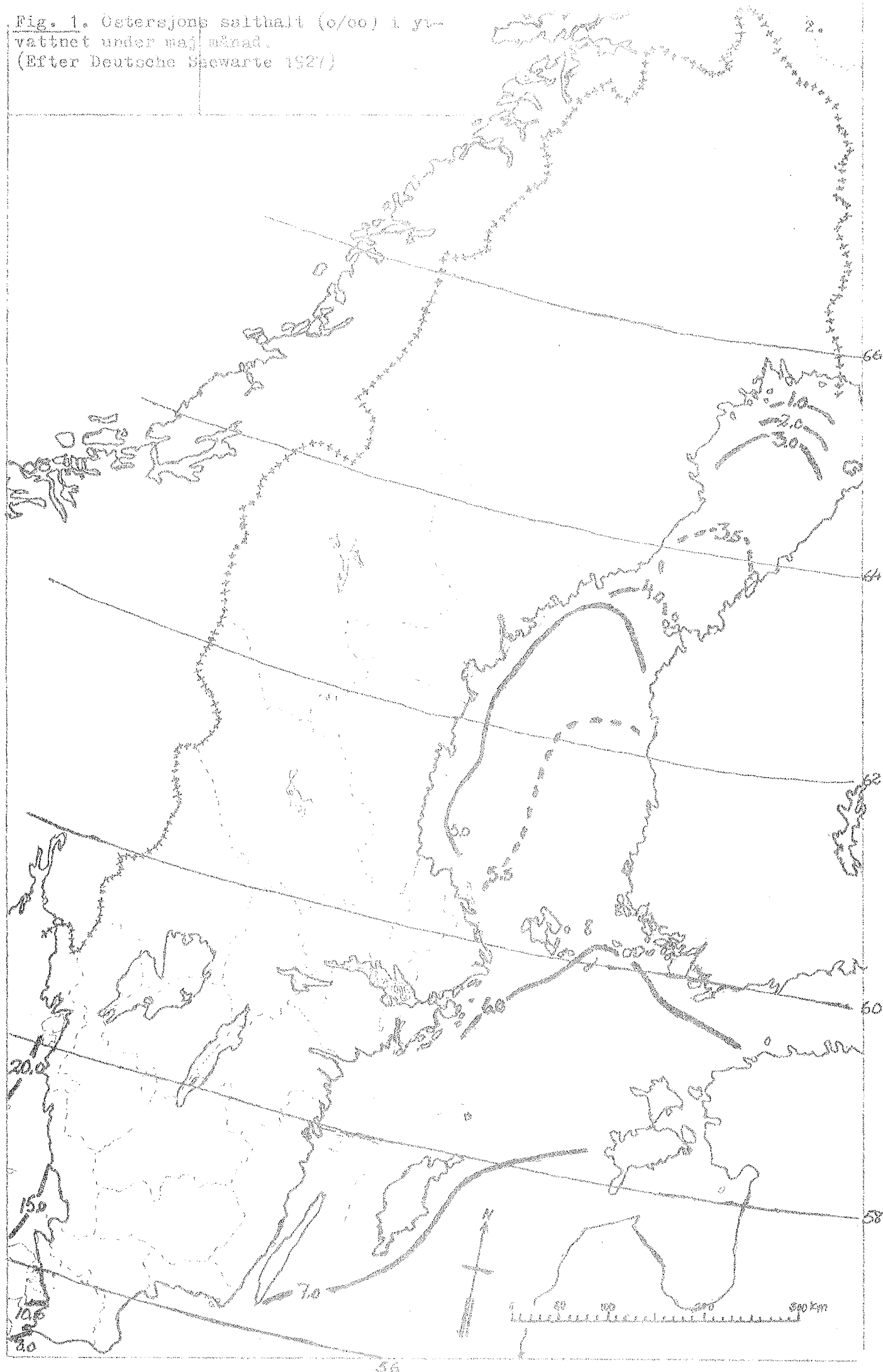
Längs östersjökusten, den del av landet som är sämst tillgodosedd med nederbörd under vegetationsperioden, har jordbrukare sedan gammalt helt naturligt funderat över möjligheterna att utnyttja östersjövatten för bevattning. De farhågor, som i första hand inställer sig inför en sådan åtgärd, består i a) risken för en ökning av markvätskans salthalt och därmed osmotiska värde, så att grödornas vattenupptagning försvåras; b) risken för tillförsel av salter i sådan mängd och av sådan art att giftverkningar och störningar i grödans ämnesomsättning uppträder; c) risken för att en ökad mängd natrium i markvätskan via jonbyten leder till försämrad markstruktur, så att rötternas tillväxt och livsverksamhet hämmas.

Sannolikheten för att dessa skadeeffekter ska uppträda, och om de uppträder deras omfattning, beror av ett flertal faktorer. Av stor betydelse är givetvis det använda vattnets koncentration och sammansättning, bevattningsgivornas storlek och antal men även faktorer som markens textur, struktur och mineralogiska sammansättning, klimatförhållanden, grödornas art och deras utvecklingsstadium vid bevattningens insättande inverkar på resultatet. Avsikten med denna uppsats är, att genom diskussion av in- och utländska erfarenheter lämna synpunkter på förväntade effekter vid bevattning med östersjövatten, som kan vara till nytta för praktiskt handlande och fortsatt försöksverksamhet.

I. Östersjövattnets koncentration och sammansättning

Salthalten i Östersjöns ytvatten återges i figur 1 efter ett tyskt kartverk (Deutsche Seewarte 1927). Som framgår av figuren stiger salthalten kraftigt, när man förflyttar sig från Bottenhavet i norr ner mot Öresund i söder. Utanför Gävle har den nått upp till 0.5 %, mitt för Stockholm till 0.6 %, vid Ölands södra udde har den stigit till 0.7 % och vid infarten till Öresund till 0.8 %. Vid en senare mätning utförd längs östersjökusten i juli 1964 var ytvattnets salthalt något högre och uppgick till 0.6 % vid 59:de, 0.7 % vid 58:de och 0.8 % vid 56:de breddgraden (Waern 1965).

Fig. 1. Östersjöns salthalt (o/oo) i ytvattnet under maj månad.
(Efter Deutsche Seewarte 1927)



Tabell 1. Östersjövattnets sammansättning, totala salthalt, elektriska ledningsförmåga och reaktionstal

Provplats	Tidpunkt för provtagning	Antal provtagningar	Sammansättning i viktprocent						Total salt-halt g/l	El. ledn. förmåga mmho (20°C)	pH
			Na	K	Ca	Mg	Cl	SO ₄	HCO ₃		
Häringe, Stockholms län	juli-sept 1944	7	30.8	1.1	1.5	3.8	55.0	7.8	- ¹⁾	-	-
Utö, "	maj-aug 1950	9	31.6	1.4	1.6	3.8	55.0	6.6	- ¹⁾	-	-
Gunnarstorp, Kalmar län	juni-aug 1963	3	31.0	1.1	1.6	3.8	56.4	6.1	- ¹⁾	3.4	7.7
Baskemölla, Kristianstads län	12/7 1963	1	29.8	1.0	1.8	3.7	54.3	7.4	2.0	8.2	7.8
" "	10/6 +13/8 1965	2	27.6	1.1	2.0	4.3	53.4	9.6	2.0	8.1	7.3
" "	8/6 1966	1	28.4	1.1	1.9	4.2	52.8	9.5	2.1	7.7	7.5

1) Ingår ej i analysen

Variationer i ytvattnets salthalt mellan och inom olika år överstiger ute i Östersjön sällan 0.1 % (Dietrich 1950, Svenska Fyrskettsundersökningar 1939, 1965). Vid inloppet till Öresund är variationen kraftigare och salthalterna ofta höga p g a inströmmande vatten från Nordsjön. Inomskärs invid stränderna kan salthalten vara lägre och variera kraftigare än utomskärs p g a utspädning med utströmmande sötvatten från fastlandet.

Östersjövattnets sammansättning med avseende på dominerande joner belyses i tabell 1, som är uppgjord efter provtagningar utförda genom den egna institutionens försorg. Proven har i samtliga fall tagits från ytvatten invid stranden. Tabellen visar att den procentuella fördelningen av de aktuella jonerna förhåller sig mycket konstant såväl för olika provtagningsplatser som mellan olika tidpunkter. Natrium dominerar helt bland katjoner och klor bland anjoner, av den totala saltmängden utgör koksalt 75-80 viktsprocent.

Utöver i tabellen medtagna dominerande joner bör sedan, i mindre mängder, samtliga i jordskorpan ingående joner kunna återfinnas i östersjövatten. Av mikroelementen kräver bor särskild uppmärksamhet, då detta ämne redan vid låga koncentrationer inverkar skadligt på många grödor. Borhalten i östersjövatten har uppmätts vid en finländsk expedition sommaren 1957 (Gripenberg 1960). Koncentrationen bestämdes härvid som mg - atomer H_3BO_4 per kg vatten men har i tabell 2 även omräknats till mg bor (B) per kg vatten. Borhalten i ytvattnet stiger med den totala salthalten från 0.5 mg bor/kg i Bottenhavet till 1.1 mg bor/kg i södra Östersjön.

Tabell 2. Borhalten i Östersjöns ytvatten (Efter Gripenberg 1960)

	H_3BO_4 mg-at/kg	B mg/kg
Utanför Västerbotten	0.048	0.52
" Ångermanland	0.069	0.75
" Uppland	0.074	0.80
" Östergötland	0.084	0.91
Mellan Öland och Gotland	0.101	1.09

II. Effekter på marken - rotmiljön vid bevattning med östersjövatten

Markvätskans saltkoncentration

Redan en bevattning med måttliga mängder östersjövatten innebär en ansevärd tillförsel av salt till jorden. Markvätskans saltkoncentration kommer därför att stiga. I en normal bevattningsgiva om 30 mm vatten med salthalten 6 g/l tillföres exempelvis 1.8 ton salt/ha, varav huvuddelen utgörs av koksalt. Markvätskans koncentrationsökning beror av markens vattenhållande egenskaper på ett sätt som kan illustreras med följande räkneexempel: Markvätskan i matjorden (0-30 cm) hos en lerjord och en sandjord antages vid fältkapacitet helt ersatt av östersjövatten med salthalten 6 g/l. Som normala värden för markens vatteninnehåll i nivån 0-30 cm vid fältkapacitet och vissningsgräns kan för lerjorden gälla 120 resp. 75 mm, för sandjorden 45 resp. 15 mm. Om nu det växttillgängliga vattnet förbrukas, medan allt salt antages bli kvar i oförändrad form, kommer den resterande markvätskans salthalt vid vissningsgränsen att stiga till 9.6 g/l i lerjorden och 18 g/l i sandjorden. Ett lägre vatteninnehåll vid vissningsgränsen och en mindre mängd växttillgängligt vatten kommer alltså att medföra en kraftigare och snabbare koncentrationsökning i sandjorden än i lerjorden.

Med ökad salthalt i markvätskan försvåras växternas vattenupptagning. Markvätskans tillgänglighet för växterna beror ju, förutom av själva jordmaterialets vattenbindande tryck (matric suction), även av ett av markvätskans osmotiska värde betingat tryck (solute suction). Dessa båda tryck som brukar uttryckas i atmosfärer, anses additiva, dvs deras summerade värde avgör växternas förmåga att tillgodogöra sig vattnet i marken. Det osmotiska värdet i en utspädd saltlösning kan beräknas enligt formeln:

$$(1) \quad p = c \cdot 0.082 \cdot T$$

där p är osmotiska värdet i atmosfärer

c är saltlösningens koncentration i mol/l

T är absoluta temperaturen ($t^{\circ}\text{C} + 273$).

Formeln gäller i här angiven form endast ämnen som ej undergår dissociation. För salter, som dissocieras, blir lösningens osmotiska värde proportionellt mot antalet osmotiskt verksamma molekyler

plus joner.

När markvätskans koncentration stiger, som följd av salttillförsel eller upptagning ~~och~~ avdunstning av vatten, stiger alltså även dess osmotiska värde. Ökningen i osmotiskt värde blir dock inte lika kraftig som koncentrationsökningen, eftersom jonernas osmotiska aktivitet avtar, när saltkoncentrationen stiger. Vidare kan svårslösliga salter fällas ut och joner adsorberas till markpartiklarna och härigenom förlora sin osmotiska verkan. Att exakt beräkna det osmotiska värdet, i en sammansatt saltlösning som markvätskan och i den komplicerade miljö som marken utgör, är därför i praktiken ogörligt. Redan bestämningen av markvätskans koncentration på ett enkelt och samtidigt meningsfullt sätt har visat sig vara besvärlig.

Det kanske vanligaste sättet att mäta jordens saltinnehåll består i en bestämning av den elektriska ledningsförmågan hos ett vattenextrakt av jorden. Detta sker vid viss bestämd temperatur och mätenheten, reciproka ohm, brukar skrivas mho ($\text{ohm}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$). Metoden har fördelen att vara enkel att utföra och samtidigt återge förändringar i det osmotiska värdet, då samma faktorer som bestämmer det osmotiska värdet även bestämmer ledningsförmågan. Den är dock även behäftad med svagheter. Vid det i Sverige rutinmässigt tillämpade förfarandet, där elektriska ledningsförmågan bestäms i extrakt av 1 del jord + 9 delar vatten, erhålles ett mätvärde, som knappast låter sig omräknas till markvätskans vid i fält förekommande fuktighetsförhållanden. Detta gäller särskilt kalkrika och sulfatgödslade jordar, för vilka den kraftiga utspädningen medför ökad löslighet av relativt svårslösliga salter. För att bättre beskriva förhållanden i markvätskan används därför i analyser vid U. S. Salinity Laboratory en mindre vattentillsats och ledningsförmågan mätes i extraktet av ett mättat jordprov (Richards et al 1954). Bestämningen utföres vid 25°C och ledningsförmågan anges i mmho (1mho = 1000 mmho). Vid en omräkning till markvätska antages jordens vattenhalt vid mättnad vara dubbelt så hög som vid fältkapacitet. Detta är naturligtvis inte något exakt förfarande och resultatet kan även här störas genom förekomst av svårslösliga salter i jorden. Vidare är metodens reproducerbarhet inte helt tillfredsställande, då kriteriet för jordprovets vattenmättnad består i vissa kvalitativa egenskaper, som inte kan fastställas exakt.

För de saltkoncentrationer vid vilka grödor kan leva och tillväxa uppger Richards följande approximativa samband föreliggande mellan markvätskans ledningsförmåga och osmotiska värde:

$$(2) \text{ Osmotiskt värde (atm.)} = \text{El. ledningsförmåga } (\rho) \cdot 0.36$$

Holländska forskare beräknar markvätskans saltkoncentration som g NaCl/l markvätska efter en bestämning av markens klorhalt och vattenhalt (v.d. Berg 1952, Verhoeven 1953). Man återger alltså ej den totala salthalten utan registrerar förändringar i markvätskans innehåll av lösliga klorider. Vid bevattning med östersjövatten, med konstant jonsammansättning och klor som dominerande anjon, bör en sådan förändring dock väl motsvara den totala koncentrationsförändringen i markvätskan.

Mycket ofta anges jordens saltinnehåll som gram salt per viktsenhet torr jord. För att därur kunna få ett begrepp om markvätskans saltkoncentration fordras, förutom kännedom om markens vattenhållande egenskaper, kännedom om ingående salters löslighet. Metoden är den mest svårtolkade, när man vill följa förändringar i markvätskans saltkoncentration.

Bestämningar av mängden vattenlösligt klor har vid något tillfälle utförts på jord, som bevattnats med östersjövatten. I ett nu pågående bevattningsförsök i Gunnarstorp utanför Kalmar, förlagt på en moränmo, utfördes provtagningar i matjorden våren och hösten 1966. Försöket har sedan starten år 1960 bevattnats med östersjövatten, med en salthalt omkring 0.7 ‰, i givor om 15, 30 resp. 45 mm. Jordens klorinnehåll var på våren 1966 efter 6 års bevattning (sammanlagt 9 bevattningar) lika i obevattnade och bevattnade försöksled. På hösten samma år, efter 2 bevattningar i juni, hade klorinnehållet i bevattnade försöksled ungefär fördubblats, medan det i det obevattnade ledet förblivit ungefär oförändrat. Den beräknade mängd NaCl som g/l markvätska förblev dock relativt låg och uppgick vid fältkapacitet och vissningsgräns till 1 resp. 3 g/l på bevattnade led och 0.5 resp. 1.5 g/l på obevattnade led.

Provtagningarna i Gunnarstorp lämnar inga upplysningar om de högre saltkoncentrationer, som bör ha förelegat i markvätskan strax efter en bevattning. Vid provtagningar på hösten kan ju en stor del av klorjonerna i matjorden ha urlakats under inverkan av nederbörden.

Nederbördens urlakande effekt på havsesalter i jorden har dock studerats på annat håll, bl.a. i USA och Holland. I två amerikanska försöksserier studerades de förändringar i markvätskans saltkoncentration, som erhöles vid bevattning med utspätt havsvatten (Gallatin et al 1963, Lunin et al 1964 b). Försöken pågick 5 resp. 4 år och genomfördes på samma lätta jord med lerinslag (gritty fine sandy loam). Det använda vattnet överensstämde i några försöksled mycket nära med östersjövatten, såväl beträffande koncentration som sammansättning.

Någon årligen tilltagande ökning av markvätskans saltkoncentration förelåg ej i de båda försöken. Den elektriska ledningsförmågan i mättnadsextrakt av jorden hade på våren i de bevattnade leden nästan alltid återtagit normala värden - lägre än 1 mmho - p g a urlakning genom nederbörd under vinterhalvåret. Efter torrperioder med upprepade bevattningar under vegetationsperioden kunde ledningsförmågan dock tillfälligt stiga högst avsevärt. Vid ett tillfälle steg den i matjorden (0-30 cm), under loppet av två månader, från 0.4 till 7 mmho efter 4 bevattningar med 25 mm vatten av östersjövattnets beskaffenhet (el.ledn.förmåga 6 mmho, jfr tabell 1). Nederbörden under samma tid uppgick till 140 mm. Redan en månad senare hade saltöverskottet, under inverkan av 200 mm nederbörd, nästan helt urlakats och elektriska ledningsförmågan i matjorden sjunkit till 2.2 mmho.

I Holland har Verhoeven (1949, 1953) studerat salturlakningen på jordar, som översvämmats med havsvatten. Omedelbart efter en översvämning har där uppmätts mycket höga saltkoncentrationer, upp till 30-40 g NaCl per liter markvätska. Undersökningarna visar, att salturlakningen även på lerjord kan ske snabbt. Redan den första vintern efter en översvämning har huvuddelen av saltet i matjorden i regel urlakats. I genomsnitt för ett flertal provplatser sjönk salthalten i nivån 0-20 cm från 25 till 2 g NaCl/l markvätska under ett vinterhalvår med 300 mm nederbörd. (Salthalten gäller för en vattenhalt i jorden omkring 30 viktsprocent; Verhoeven 1949). Olika heter i urlakningshastighet mellan olika jordar har samtidigt studerats. Salturlakningen gynnades av en god genomsläpplighet och goda dräneringsförhållanden. Den påskyndades därför av en gipstillförsel och befanns i regel ske betydligt snabbare just ovanför en dräneringsledning än på sidorna om denna.

Samtliga ovan återgivna undersökningar antyder, att en från år till år ackumulerad höjning av markvätskans saltinnehåll inte behöver befaras vid måttlig bevattning med östersjövatten. Nederbörden under vinterhalvåret synes hos oss vara av tillräcklig storlek för att borttransportera under sommaren anrikat salt från rotzonen. Däremot måste man, enligt de amerikanska erfarenheterna, räkna med att markvätskans salthalt tillfälligt kan stiga mycket kraftigt under vegetationsperioden efter upprepade bevattningar utan mellanliggande nederbörd.

Inom arida områden med låg nederbörd och kraftig avdunstning, föreligger risk för fortlöpande saltanrikning, även om salthalten i det tillförda vattnet är låg. Man har under dylika förhållanden funnit det nödvändigt att tillföra vatten i så stora givor, att en del av det anrikade saltet vid varje bevattning urlakas ur rotzonen. Det exakta urlakningsbehovet är givetvis svårt att fastställa och beror förutom av vattnets beskaffenhet av markens egenskaper. Richards (1954) anger följande enkla formel vägledande:

$$(3) \text{ Urlakningsbehov} = \frac{\text{El.ledningsförmåga i tillfört vatten}}{\text{El.ledningsförmåga i dräneringsvatten}}$$

Formeln anger hur stor del av den tillförda vattengivan, som vid varje bevattning måste passera rotzonen, för att dräneringsvattnets salthalt ska hållas vid viss bestämd nivå. Är det tillförda vattnets ledningsförmåga exempelvis 1 mmho och man vill begränsa dräneringsvattnets till 4 mmho, måste vid varje bevattning minst $1/4$ av den tillförda vattengivan urlakas.

Under våra humida förhållanden och vid de höga salthalter som föreligger i östersjövatten kan en gynnsam salturlakande effekt av stora vattengivor sällan påräknas. Vid enstaka kompletterande bevattningar med östersjövatten bör man i stället, för att hålla saltkoncentrationen i marken så låg som möjligt, aldrig vattna mer än upp till fältkapacitetsvärdet.

Markens sammansättning av lösta och utbytbara joner

En bevattning med östersjövatten, med dess höga halter natrium- och magnesiumsalter, rubbar det ursprungliga förhållandet mellan jonerna i markvätskan. Härigenom störs dels grödornas jonupptagning, dels jonbytesjämvikten mellan i marken lösta och till markpartiklarna adsorberade utbytbara joner. Det förra påverkar direkt näringsbalansen och ämnesomsättningen i växten, det senare kan leda till en strukturförsämring i marken och därmed till en ogynnsam rotmiljö.

Av utbytbara joner anses vanligen de tvåvärda jonerna Ca^{2+} och Mg^{2+} verka utfällande på markkolloiderna och därigenom gynna aggregatbildningen i jorden. De envärda jonerna K^+ och framförallt Na^+ tillskrives en motsatt aggregatnedbrytande verkan. Enligt erfarenheter från arida områden är markstrukturen ofta märkbart försämrad, när natriummättnadsgraden överstiger 15 procent, dvs när (Richards et al 1954):

$$(4) \quad \frac{\text{Utbytbart natrium (me/100 g jord)}}{\text{Totala katjonbyteskapaciteten (me/100 g jord)}} \cdot 100 > 15$$

Vill man följa tillståndet i marken vid bevattning med salthaltigt vatten under humida förhållanden, kan detta uttryckssätt vara mindre meningsfullt. Jordarna har här oftast en lägre basmättnadsgrad och är mer eller mindre sura. På sitt pH-beroende kommer katjonbyteskapaciteten, när den bestäms enligt gängse metoder vid neutralt pH-värde, ofta att anta ett högre värde än det som föreligger i marken i fält. Natriummättnadsgraden enligt formel (4) återspeglar då varken natriumjonen i förhållande till rådande katjonbyteskapacitet i fält eller i förhållande till summan utbytbara metallkatjoner. En förskjutning av sammansättningen av utbytbara katjoner beskrivs i stället, enligt Lunin et al (1964a), i humida områden riktigare och tydligare genom beräkning av natrium i procent av totala mängden utbytbara metallkatjoner, dvs:

$$(5) \quad \frac{\text{Utbytbart natrium (me/100 g jord)}}{\text{Totala mängden utbytbara metallkatjoner (me/100 g jord)}} \cdot 100$$

Förändringar i sammansättningen av utbytbara katjoner och därav föranledda strukturskador har ägnats ingående studier i holländska arbeten. Westerhof (1950) uppger följande sammanställning ge en god bild av utbytbara katjoner i marken före och efter en översvämning med havsvatten. (Tabell 3).

Tabell 3. Procentuell fördelning av utbytbara katjoner (me) i jorden före och efter översvämning med havsvatten. (Efter Westerhof 1950).

	Ca	Mg	K	Na
Före översvämning	87	8	4	1
Efter "	49	24	5	21

Så länge som saltinnehållet i markvätskan är högt inträder i regel inga strukturproblem, eftersom en hög saltkoncentration verkar utfällande på markkolloiderna. När saltorna utlakas bortfaller eneller-tid denna koagulationseffekt och de ogynnsamma verkningarna av en hög natriummättnadsgrad framträder. Leraggregaten faller sönder, jorden slarvar igen, blir svårgenomsläpplig och klibbig i fuktigt tillstånd samt skorpbildande och hård, när den torkar.

Redan första vintern efter en översvämning kan, som tidigare framhållits, huvuddelen av saltorna i marken urlakas och efter tre år är problemet med för växterna skadliga saltkoncentrationer i markvätskan i regel helt ur världen (Verhoeven 1949). Att förtränga adsorberat natrium och återställa en nedbruten struktur tar däremot avsevärt längre tid. Man har i Holland provat tillförsel av kalcium i olika former för att påskynda processen (Verhoeven 1949, 1953, 1964; Westerhof 1950). Den bästa och snabbaste effekten har erhållits vid tillförsel av neutralsalter av kalcium till jorden, främst gips. På kalkrika jordar har tillförsel av svavel fått en likartad god effekt, genom att svavel reagerat med kalciunkarbonat i jorden under bildning av gips. Vanliga kalkningsmedel, som släckt kalk eller kalciunkarbonat, har däremot, när de tillförts ensamma, haft en ringa verkan på sin låga löslighet. Härtill kan tilläggas att basiska kalkningsmedel, särskilt i samband med stora mängder utbytbar natrium i jorden, kan ge en ogynnsam höjning av markens pH-värde (Kelley 1963, 1964 b,c; Richards et al 1954). Storleken av tillförda gipsgivor har i Holland anpassats till jordens lerhalt, på styva lerjordar rekommenderas givor upp till 12-15 ton/ha. Med stigande mullhalt i jorden kan givorna minskas, en mullhalt på 3.5-4 procent uppgår Westerhof (1950) kraftigt motverka strukturförstöring på översvämnad mark.

Vid avslutandet av de tidigare refererade amerikanska bevattningsförsöken analyserades jorden även till sitt innehåll av utbytbara katjoner (Gallatin et al 1963, Lunin et al 1964b). I tabell 4 återges analysresultat för försöksled, som bevattnats med sötvatten råsp utspätt havsvatten av koncentration och sammansättning motsvarande östersjövattnet. Provtagning ägde rum i natjorden (0-15 cm) på hösten, efter att försöket under 4 år sammanlagt bevattnats 20 gånger med 25 mm i varje bevattningsgiva.

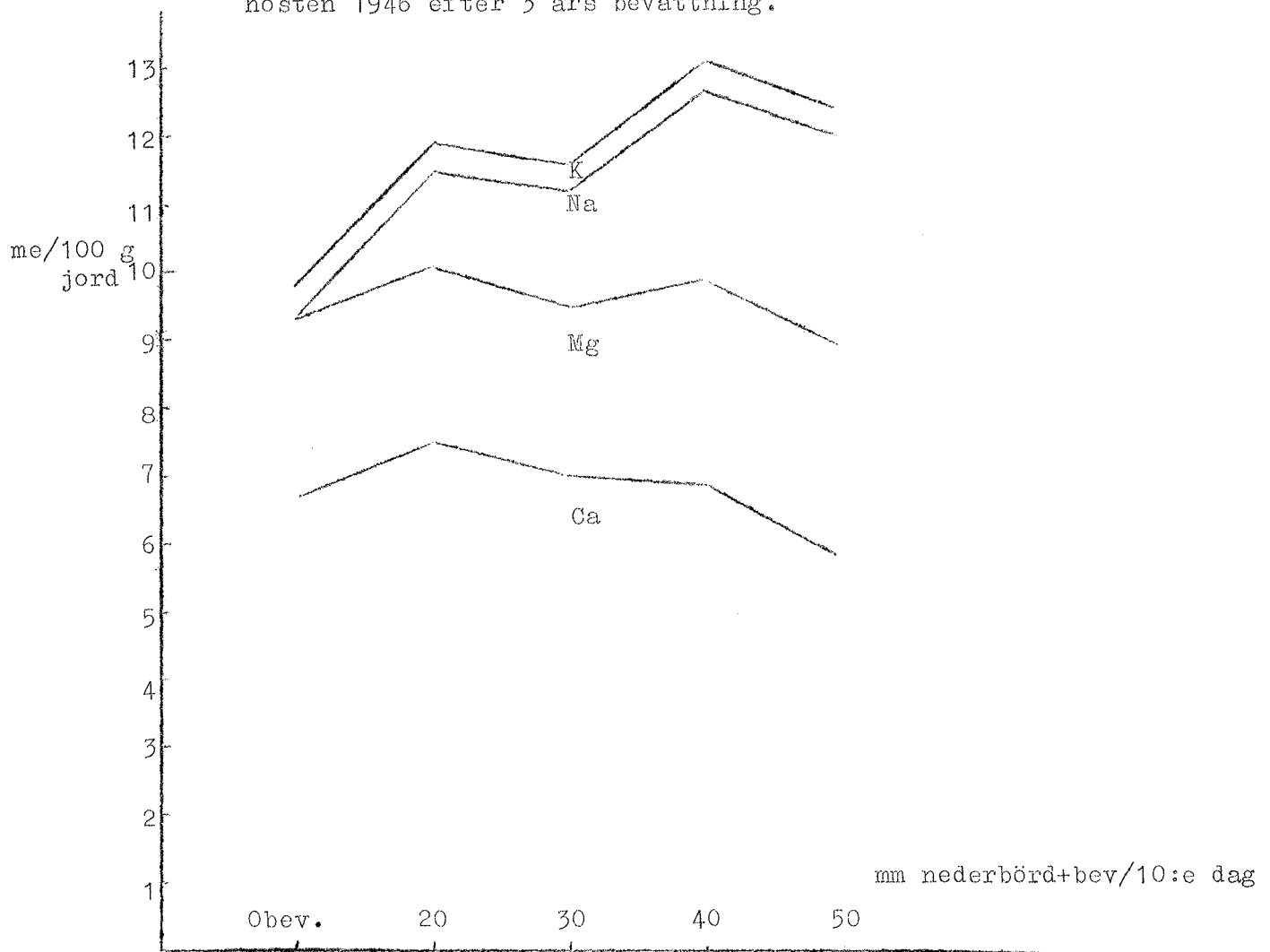
Tabell 4. Procentuell fördelning av utbytbara katjoner (no) i natjorden efter 4 års bevattning (Efter Lunin et al 1964b).

	Ca	Mg	K	Na
Efter bevattning med sötvatten	84	8	5	3
Efter bevattning med utspätt havsvatten (8 mmho)	56	23	8	13

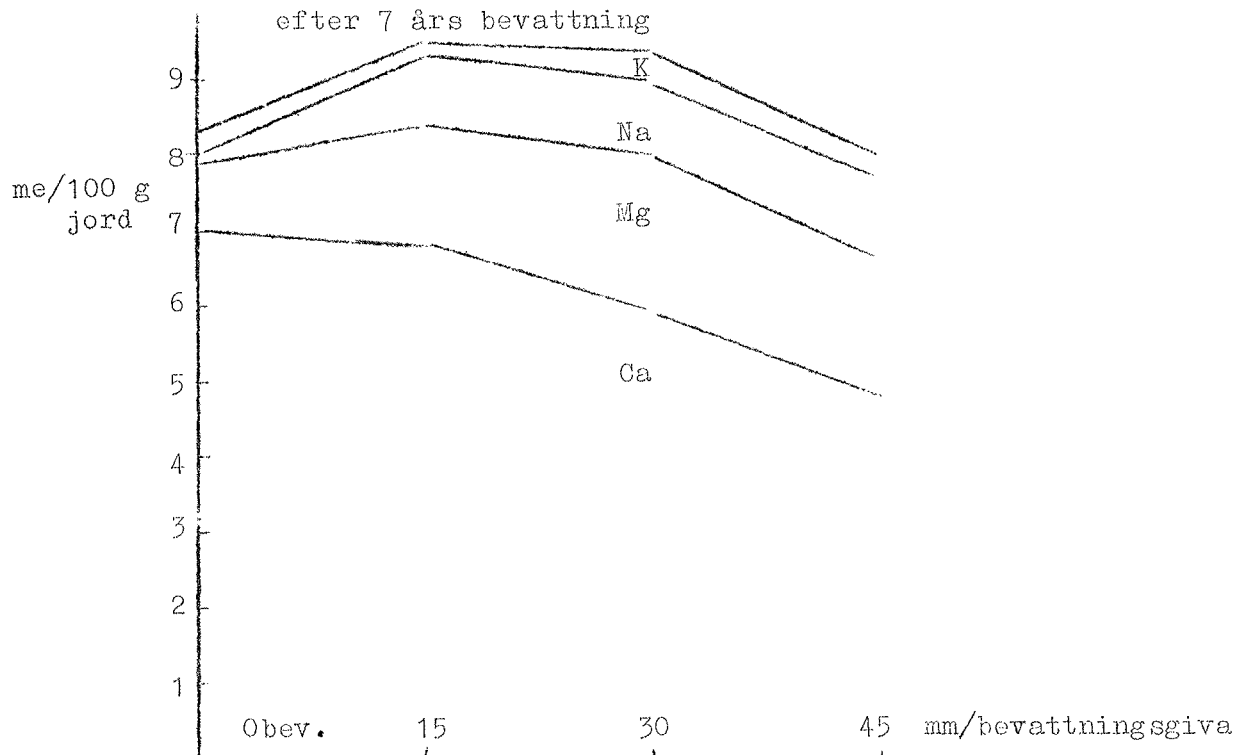
Som framgår av tabell 4, har förhållandet mellan markens utbytbara katjoner förskjutits kraftigt under inverkan av havsvattnets salter. Förskjutningens riktning och omfattning överensstämmer väl med de uppgifter, som i tabell 3 redovisats för översvämnad mark i Holland, Summan utbytbara katjoner förändrades däremot obetydligt, så var den t ex endast 3 procent högre i det havsvattenbehandlade än i det sötvattenbehandlade ledet i tabell 4. Säkra skillnader i jordens pH-värde eller volymvikt kunde inte heller konstateras följa av salttillförseln (Gallatin et al 1963).

Även i svenska bevattningsförsök med östersjövatten har man studerat förändringarna i sammansättningen av utbytbara katjoner. Resultat därav återges i tabell 5 och 6 samt figur 2 och 3. Försöket i Häringe, Stockholms län, utfördes på en permanent betesvall på mellanlera. Vattnets salthalt uppgick till 0.5-0.6 procent och bevattningsgivornas storlek anpassades till nederbörden, så att sammanlagda mängden nederbörd och bevattning för varje 10-dagarsperiod utgjorde 20, 30, 40 och 50 mm. Provtagning ägde rum på hösten efter 3 års bevattning. Försöksbetingelserna i Gunnarstorp har tidigare beskrivits. Jorden har här efter 7 års bevattning analyserats till sitt innehåll av Al-lösliga katjoner, förhållandet mellan dessa torde väl återspegla förhållandet mellan motsvarande utbytbara joner.

Figur 2. Utbytbara katjoner (me) i matjorden (0-30 cm) vid Häringe ^{13.}
hösten 1946 efter 3 års bevattning.



Figur 3. AL-lösliga katjoner (me) i matjorden vid Gunnarstorp hösten 1966
efter 7 års bevattning



Tabell 5. Procentuell fördelning av utbytbara katjoner (ne) i nat-jorden på nollanlera vid Häringe hösten 1946 efter 3 års bevattning. (Efter Nääs 1948)

Bevattningsled mm/10:e dag	Total bevattnings- mängd under 3 år mm	Procentuell fördelning av utbytbara katjoner (ne)			
		Ca	Mg	K	Na
Obev.	0	68	26	5	1
20	158	63	22	4	11
30	325	60	22	4	14
40	535	53	23	3	21
50	775	46	25	4	25

Tabell 6. Procentuell fördelning av AL-lösliga katjoner (ne) i nat-jorden på noränno vid Gunnarstorp hösten 1966 efter 7 års bevattning.

Bevattningsled mm/gång	Total bevattnings- mängd under 7 år mm	Procentuell fördelning av AL-lösliga katjoner (ne)			
		Ca	Mg	K	Na
Obev.	0	84	11	3	2
15	165	71	17	3	9
30	330	63	22	4	11
45	495	60	23	4	13

Bevattningen med östersjövatten har i de båda försöken medfört en kraftig anrikning av natrium och urlakning av kalcium, storleksordningen är densamma, som i de holländska och amerikanska arbetena ovan. Den procentuella andelen utbytbart magnesium var på försöksplatsen i Häringe mycket hög redan i det obevattnade försöksledet och en ytterligare uppgång har uteblivit. I Gunnarstorp däremot är anrikningen av AL-lösligt magnesium väl så stor som för natrium. Mängden kalium förhåller sig vanligen oförändrad eller stiger vid bevattning med östersjövatten.

Inte i något fall har en ökad giva östersjövatten haft gynnsam urlakande effekt på utbytbart (eller AL-lösligt) natrium i jorden. Visserligen kvarstår en relativt mindre andel av de med vattnet tillförda natriummängderna vid större bevattningsgivor. Enligt Nääs

(1957) kvarstannade t ex i nivån 0-60 cm, vid minsta och största bevattningssgiva i Häringe, 96 resp. 40 procent av de tillförda natriummängderna. Men slutresultatet har ändå blivit, att absoluta mängden natrium och framförallt natrium i procent av utbytbara katjoner fortsatt att stiga ned bevattningssgivornas storlek. Detta förhållande styrker uppfattningen, att det för arida områden rekommenderade urlakningsförfarandet normalt inte bör tillämpas vid bevattning ned österssjövattnen under våra nederbördsrikare förhållanden.

Markens pH-värde har visat en svagt stigande tendens under inverkan av österssjövattnen. I Häringe där jämförelse kan göras mellan försöksled, som bevattnats med österssjövattnen resp sötvatten, återfinnes dock denna tendens i båda dessa bevattningsled och någon tydlig inverkan av själva salttillförseln kan inte urskiljas.

Några egentliga fältstudier över österssjövattnets inverkan på markstrukturen har inte genomförts i landet. I laboratorieförsök med artificiellt packade prover av olika jordarter har en starkt nedsatt genomsläpplighet följt efter en behandling med österssjövattnen (Hallgren 1944). Hallgren påpekar dock, att resultaten inte utan vidare kan återföras att gälla i fält på jordar i naturlig lagring. De båda bevattningsförsöken i Häringe och Gunnarstorp har inte visat några synliga tecken på en strukturförsämring (Hallgren 1959). Försöken har dock pågått en relativt kort tid och på lerjorden i Häringe omfattat en sådan gröda, permanent betesvall, på vilken förutsättningar för synliga strukturskador är speciellt små. Den kraftiga natriumanrikningen inger dock farhågor, för att strukturproblemen uppstått, om jorden i Häringe brukats. Observera den nästan exakta överensstämmelsen i sammansättning av utbytbara katjoner mellan högsta bevattningsledet i Häringe (tabell 5) och den översvämnade marken i Holland, på vilken svåra strukturskador uppträtt (tabell 3). På lätta jordar är risken för strukturskador mindre. Troligen kan de också motverkas genom en kontinuerlig kalciumtillförsel, lämpligen i form av gips.

III Effekter på g. Odan vid bevattning ned österssjövattnen

Grödans reaktion i en saltpåverkad rotniljö

Mycket arbete har framförallt i arida områden, lagts ned i syfte att klarlägga orsakerna till skadeverkningar på grödan i en saltpåverkad rotniljö. Resultaten av dessa forskarnödar är dock inga-

lunda entydiga utan ofta motsägande och svårtolkade, vilket inte är förvånande med tanke på den mångfald faktorer av kemisk, fysikalisk och biologisk natur, som är inbegripna. Anvisningar om lämpliga åtgärder för att begränsa skadeeffekter av en bevattning med österssjövattnen under våra klimatförhållanden, som ej kan grundas på inhemska erfarenheter, blir därför osäkra.

Stor betydelse tillmätes ofta den försämrade vattenförsörjning, som drabbar växterna, när markvätskans koncentration och osmotiska värde stiger. Under normala fältförhållanden torde dock markvätskans osmotiska värde sällan nå så höga värden, att en märkbart försvårad vattenupptagning behöver befaras. I en studie av några lerjordar i södra Sverige beräknades det osmotiska värdet i ogödslad matjord uppgå till 0.4-0.5 atmosfärer vid fältkapacitet och till ungefär det dubbla, 1.1-1.3 atmosfärer, vid vissningsgränsen. Genom tillförsel av extremt höga gödselgivor steg dessa värden till 2.1-2.3 resp. 5.1-7.3 atmosfärer vid fältkapacitet och vissningsgräns, en höjning som anges kunna inverka ogynnsamt på rötternas livsverksamhet (Wiklander 1965).

Det osmotiska värdet hos österssjövattnen med salthalten 6 g/l blir enligt formel (1) ungefär 4.5 atmosfärer, vilket då teoretiskt motsvarar det osmotiska värdet vid fältkapacitet, om markvätskan tänkes helt ersatt med österssjövattnen. Vid vissningsgränsen blir värdet under samma teoretiska förutsättningar 2-3 gånger högre. Utspädning med nederbörd och ursprunglig markvätska gör att en sådan kraftig uppgång inte omedelbart behöver befaras följa vid bevattning med österssjövattnen. Lunin et al (1964b) uppnåtte dock vid ett tillfälle, efter upprepade bevattningar med utspätt havsvatten motsvarande österssjövattnen, en elektrisk ledningsförmåga i matjordens mättnadsextrakt på 10 mho i nivån 0-15 cm och 4 mho i nivån 15-30 cm. Motsvarande osmotiska värden i markvätskan blir enligt formel (3) och efter omräkning till fältkapacitet omkring 7 resp 3 atmosfärer. (Jordens vattenhalt antages vid mättnad vara dubbelt så hög som vid fältkapacitet). Risk för att markvätskans osmotiska värde vid bevattning med österssjövattnen periodvis skall stiga i sådan omfattning, att grödans tillväxt hämmas, kan alltså enligt ovanstående föreligga. Om eventuella skadeverkningar kan motverkas genom stora bevattningsgivor eller ofta återkommande bevattning

är oklart. I enlighet med vad som tidigare framhållits, bör det senare förfarandet hos oss ha största utsikten att ge positivt resultat. Genom bevattning med tätare intervall, dvs bevattning vid högre vattenhalt i marken, kan koncentrationsökningen i markvätskan i viss mån nedbringas och framförallt undvikas härigenom kraftiga höjningar av det summerade vattenbindande trycket i marken. En ytterligare faktor, som i detta sammanhang måhända är värd att beakta, är att kraftiga koncentrationsförändringar i sig själva kan inverka ogynnsamt på grödan (Ekdahl 1953, Grillot 1956).

Om de skadliga effekterna av stora saltmängder i jorden huvudsakligen skulle härröra från salternas osmotiska verkan, dvs den därav betingade s k fysiologiska torkan, kunde man förvänta sig att finna en god överensstämmelse mellan växternas känslighet för salt och för torka. En sådan överensstämmelse föreligger enligt v.d. Berg (1952), vid inverkan av havsvatten, endast för vissa salttoleranta grödor. För andra grödor är marklösningens osmotiska värde mindre utslagsgivande och hämmad tillväxt antages i första hand bero på saltanrikning och en ogynnsam jonbalans i växten.

Grödan är för sin tillväxt beroende av ett fysiologiskt välbalanserat förhållande mellan jonerna i rotmediet. Visserligen upptas inte jonerna i exakt det förhållande, som de förekommer i marklösningen, men jonbalansen där inverkar på jonbalansen i växten och därmed på tillväxten (Batchelder et al 1963). En israelitisk forskare Heiman (1958) hävdar också, att förutsatt marken är väldränerad, inte så mycket själva saltkoncentrationen som förhållandet mellan jonerna i marklösningen avgör en saltpåverkad jords egenskaper som växtplats. I rötternas jonn miljö måste, enligt Heiman, samtliga joner innefattas och en uppdelning i begrepp som växtnäring, skadliga salter och pH-värde kan verka vilseledande. Bristtillstånd och giftverknningar på grödan skulle på en saltpåverkad jord hellre benämnas och bättre beskrivas som effekter av en obalanserad jonn miljö. Särskilt intresse ägnar Heiman förhållandet mellan natrium och kalium i mark och gröda. Kaliumtillgången i marken anges kunna bli avgörande för grödans tillväxt, genom att kalium hämmar upptagning och giftverkan av natrium. Andra forskare ägnar större uppmärksamhet åt kalcium, som tillskrives likartade värdefulla effekter vid förekomst av natrium i jorden (Grillot 1956, Kelley 1963).

Den ryske forskaren Stroganov (1964) diskuterar ingående grödans reaktion för ett högt osmotiskt värde resp rubbad jonbalans i salt-påverkad jord. Marklösningens osmotiska värde, framhåller han, "blir av större betydelse endast vid mycket höga salthalter i marken, när effekten av fysiologisk torka helt kommer till uttryck. Under sådana förhållanden hämmas vattenupptagningen, frönas groningen uteblir och plantorna dör. Dessa fenomen är av rent fysikalisk natur och den avgörande faktorn är salternas osmotiska verkan. På mindre saltpåverkad jord, där växterna fortfarande kan ta upp vatten, är salternas giftverkan utan tvekan avgörande för deras existens ...". Salternas giftverkan anger Stroganov i första hand härröra från anjonerna dvs klor och sulfatjonen, framförallt den förstnämnda. Uppfattningen delas av Bihler (1963), som funnit hämmad tillväxt hos köksväxter på saltanrikad jord närmast sammanhånga med en ökad klorupptagning och en därav betingad höjning av det osmotiska värdet i cellsaften.

Redan fröet påverkas av salt i jorden, vilket ger sig tillkänna i en försenad och nedsatt groningen. Orsakerna till detta måste sökas såväl i ett högre osmotiskt värde som i salternas giftverkan (Ayers 1952, Stroganov 1964). Den försenade utvecklingen kan bestå eller ytterligare accentueras under grödans fortsatta utveckling, som framgår av nedanstående sammanställning av ett fältförsök med korn på havsvattenöversvämmad mark i Holland (v.d. Berg 1952).

Tabell 7. Antal dagar från sådd till uppkomst och axgång hos vårkorn vid olika salthalt i marklösningen. (Efter v.d. Berg 1952).

Utvecklingsstadium	Markvätskans saltkoncentration som g NaCl/l		
	3.0	7.1	12.7
Uppkomst:			
begynnande	15	15	21
avslutad	23	23	48
Axgång:			
begynnande	39	44	48
avslutad	53	60	78

Vill man vid bevattning med österssjövatten begränsa skadeeffekten av en rubbad jonbalans på grödan, bör man, i enlighet med här återgivna arbeten, ägna särskild omsorg åt val och tillförsel av gödselmedel. Stallgödsel och andra organiska gödselmedel blir fördelaktiga, när man vill undvika ytterligare höjningar av markvätskans saltkoncentration. Likaså tillförsel av löslig handelsgödsel uppdelad i mindre givor i stället för en stor giva. Att ersätta urlakat kalcium är betydelsefullt såväl ur växtnäringssynpunkt, som för att motverka en strukturförsämring. Lämplig kalciumkälla torde i detta sammanhang vara gips. Kaliumgödsling, som enligt Heiman (1958) är särskilt viktig, får givetvis ej ske med klorhaltiga gödselmedel. Kväve bör enligt Bihler (1963) tillföras i nitratform, då nitratjonen uppges hämma och ammoniumjonen stimulera växtens klorupptagning. En riklig fosforgödsling skulle inverka gynnsamt, då såväl fosfat som sulfatjonen uppges hämma klorupptagningen. (Strogonov 1964).

Slutligen bör uppmärksamhet ägnas den bor, som tillföres vid bevattning med österssjövatten. En bevattningsgiva om 30 mm österssjövatten med borhalten 1 mg/l innebär tillförsel av 0.3 kg bor/ha, dvs lika mycket bor som tillförs vid gödsling med knappt 3 kg borax/ha. Eventuell borgödsling kan därför behöva reduceras. I gödslingsanvisningar brukar för borbehövande grödor rekommenderas gödsling med 10-20 kg borax/ha, en giva som man framhåller ska spridas med stor noggrannhet, för att giftverknningar på grödan p g a överdosering ska undvikas.

Grödornas salttolerans

Olika grödor har visat en högst varierande förmåga att överleva och tillväxa på en saltanrikad jord och sägs därför vara olika salttoleranta. För jordbrukets och trädgårdsnäringens ändamål uttrycks salttoleransen bäst som grödans relativa avkastning på saltanrikad jord i förhållande till avkastningen på saltfri jord. Sammanställningar över olika grödors salttolerans, som utgivits av U S Department of Agriculture, anger den saltkoncentration i markvätskan vid vilken signifikanta skördesänknningar inträder. Uppgifterna är baserade på fältförsök och avser, med undantag för fruktträd och bärkuskar, salttoleransen från senare groddplantstadium och framåt. (Tabell 8).

Enligt Strogonov (1964) är det felaktigt att helt allmänt tala om salttolerans utan att ange salternas sammansättning. Grödorna reage-

rar på olika sätt för olika anjoner och en uppdelning måste göras i klorid-, sulfat- och karbonattolerans. Ur uppgifter om en viss arts tolerans gentemot ett salt, kan inga förutsägelser göras om dess tolerans gentemot ett annat salt eller en blandning av olika salter. I de sammanställningar, som utgivits av U S Department of Agriculture, lämnas inga upplysningar om vilka salter grödan utsatts för. Den uppgivna ordningsföljden mellan grödorna i avseende på salttolerans överensstämmer dock väl med resultat, som erhållits i försök på annat håll, där man studerat grödornas känslighet för havsvatten dvs känsligheten för samma salter som ingår i östersjövatten (Lunin et al 1964b; v.d. Berg 1950, 1952). Ett exempel på detta lämnas i tabell 9, som för havsvattenpåverkad jord i Holland återger den högsta salthalt, som enligt v.d. Berg (1950) kan tillåtas i markvätskan på våren, för att avkastningen ej skall understiga 75 procent av avkastningen på normal jord. Man kan därför anta att uppgifterna i tabell 8, vad beträffar det inbördes förhållandet mellan grödornas salttolerans, även gäller vid bevattning med östersjövatten i vårt land.

De i tabellerna utsatta absoluta värdena för tillåten saltkoncentration måste emellertid uppfattas som mycket ungefärliga. Storleken av den skördenedsättning som inträffar vid odling på jord med viss saltpåverkan beror, förutom av inre genetiskt betingade egenskaper hos växten, av yttre miljöfaktorers inverkan. Allmänt gäller att effekten av en bestämd saltkoncentration i rotmediet blir större ju längre tid grödan utsatts för denna saltpåverkan och ju högre temperaturer som varit rådande, det senare troligen en följd av kraftigare transpiration och därmed jonanrikning, särskilt av klor, i växtvävnaderna (v.d. Berg 1950, 1952; Bernstein 1964; Bihler 1963; Stroganov 1964).

Salttoleransen förändras också med grödans utvecklingsstadium. Känsligast är grödorna under sitt groddplantstadium. Under fältförhållanden sammanhänger detta ofta med en saltanrikning i översta delarna av matjorden, där groddplantornas rötter är lokaliserade (Hayward och Bernstein 1958). Ayers och Hayward (1948) har emellertid också funnit, att en generell överensstämmelse inte existerar mellan salttoleransen under plantans tidiga groddplantstadium och under senare utvecklingsstadier. En del salttoleranta grödor kan

vara särskilt känsliga under groningen, andra inte. Likaså kan ordningsföljden mellan olika gröders salttolerans vara omkastad under tidigt groddplantstadium. Den under senare utvecklingsstadier så salttoleranta sockerbetan är t ex under groddplantstadiet mycket känslig och betydligt känsligare än exempelvis majs och lusern. Vanligen ökar plantornas salttolerans sedan med åldern. Förutom groddplantstadiet kan dock även blomningsstadiet vara en känslig period, enligt ryska uppgifter gäller detta bl a för tomat och lusern (Strogonov 1964),

Speciella skadeeffekter kan i vissa fall uppkomma genom att grödornas ovanjordiska delar vid besprutning kommer i kontakt med salthaltigt vatten och tar upp salt direkt genom bladen. Särskilt i frukt- och bäroddlingar kan skadesymptom härigenom uppträda vid mycket låga salthalter i det tillförda vattnet, vid salthalter som inte orsakar tillväxthämningar, om besprutning av bladen kan undvikas. Blad hos stenfrukter anges vara särskilt känsliga för salthaltigt vatten, medan jordgubbens blad är motståndskraftiga och upptar relativt små saltmängder (Bernstein 1962, 1964).

Även skördeprodukternas kvalitet dvs kemiska sammansättning, smak, form, storlek o dyl påverkas av en ökad salthalt i rotmediet. De flesta kulturväxter reagerar för klorider med en ökad grad av succulens dvs vävnaderna blir tjockare och deras vattenhalt stiger (Bernstein 1964, Strogonov 1964). Hos gramineer och då särskilt hos korn kan dock reaktionen enligt Strogonov vara en annan eller den motsatta. Klorjonen har hos korn i stället gett upphov till en minskad bredd och tjocklek hos bladen och en kraftigare utveckling av mekanisk vävnad i stammen.

Tabell 8. Salttolerans hos olika grödor. Elektrisk ledningsförmåga i jordens mättnadsextrakt vid vilken skördenedsättning inträder. (Efter Bernstein 1958, 1959, 1960, 1965).

Gröda	Toleranta	Rel. toleranta	Känsliga
	12 mmho	8 mmho	2 mmho
Åkerväxter	Korn	Råg	Bönor
	Sockerbeta	Vete	
	Raps	Havre	
		Bondböna	
		Majs	
		Lin	
		Solros	
	8 mmho	4 mmho	

	12 mmho	6 mmho	3 mmho
Vallväxter	Rörsvingel	Eng.rajgräs	Vitklöver
		Blålusern	Ängskavle
		Hundäxing	Alsikeklöver
		Foderlost	Rödklöver
	6 mmho	3 mmho	2 mmho

	8 mmho	5 mmho	3 mmho
Köksväxter	Rödbeta	Tomat	Rädisa
	Grönkål	Broccoli	Selleri
	Sparris	Kål (vit-, röd-)	Bönor
	Spenat	Blomkål	
		Sallat	
		Potatis	
		Morot	
		Lök	
		Ärt	
		Gurka	
	5 mmho	3 mmho	2 mmho

			2.5 mmho
Frukt och bär			Äpple, päron
			Plommon, persika
			Björnbär, hallon
			Jordgubbe
			1.5 mmho

Tabell 9. Salttolerans hos olika grödor. Den högsta salthalt som kan tillåtas i matjorden (5-20 cm) på våren, för att avkastningen ej ska understiga 75 procent av avkastningen på saltfri jord (v.d. Berg 1950).

	Högsta koncentration i markvätskan	
	NaCl g/l markvätska ¹⁾	Elektrisk ledningsförmåga(mmho) i markvätskan ^{1) 2)}
Korn	10.0	18
Sockerbeta	7.0	13
Havre	6.5	12
Lusern	6.0	11
Vårvete	4.0	8
Potatis	3.0	6
Lök	2.5	5
Hästböna	2.0	4
Ärt	0.6	1
Bruna bönor	0.5	1

1) Observera att uppgifterna avser markvätskan. Motsvarande värden för jordens mättnadsextrakt bör bli mindre än hälften av de i tabellen angivna.

2) Här beräknad för motsvarande rena NaCl-lösning enligt Richards (1954).

Avkastningen i svenska vallförsök

Fältförsök med syfte att studera östersjövattens användbarhet för bevattningsändamål har genomförts vid Institutionen för lantbrukets hydroteknik på en sammansatt permanent betesvall i Häringe 1944-47 samt med ett flertal vallväxter i renbestånd på Utö 1949-1952, båda platserna i Stockholms län (Nääs 1948, 1957).

På försöksplatsen i Häringe var jordarten mellanlera. Bevattningen utfördes så att sammanlagda mängden nederbörd och bevattning för 10-dagarsperioder skulle uppgå till 20, 30, 40 och 50 mm och omfattade såväl sötvatten som saltvatten, för att en jämförelse mellan vattenslagen och en direkt studie av saltets inverkan skulle bli möjlig.

Bevattningen medförde i alla försöksled en ökning av den årliga totalskörden, de procentuella skördeökningarna i jämförelse med obevattnat led presenteras i tabell 10. Under det första försöksåret (1944) gav de högsta bevattningsgivorna betydande och exakt lika stora skördeökningar för båda vattenslagen. De två därpå följande åren 1945 och 1946 erhöles betydande skördeökningar endast med sötvatten, bevattning med östersjövatten gav obetydliga och i intet fall signifikanta skördeökningar. Nääs framhåller dock att bevattningen med östersjövatten även under dessa år haft en gynnsam verkan, i det att en utjämning av betesvallens produktion under vegetationsperioden erhöles. Under torrperioder har östersjövattnets effekt närmast sig sötvattnets och givit betydande skördeökningar, som framträder vid en studie av säsongens delskördar. I den årliga totalskörden har resultaten utjämnats på grund av utebliven eller rent av negativ effekt på andra delskördar. Skördedepressioner inträffade främst på våren vid den första delskörden och då även om denna skörd ej föregåtts av bevattning. Negativ effekt av föregående års salttillförsel, som försenade eller tillbakasette utvecklingen i början av en vegetationsperiod, anges vara förklaringen.

Tabell 10. Avkastningen i bevattningsförsöken med östersjövatten i Häringe 1944-1947. Procentuell skördeökning vid olika bevattningsintensitet i förhållande till det obevattnade försöksledet. (Efter Nääs 1948)

	Summa nederbörd + bevattning per 10-dagarsperiod							
	20 mm		30 mm		40 mm		50 mm	
	salt	sött	salt	sött	salt	sött	salt	sött
1944	—	—	6	14	15	15	34	34
1945	7	5	7	17	5	20	10	23
1946	6	11	5	29	13	43	10	43
1947	20	32	35	42	52	77	49	69

Skörderesultaten från det sista försöksåret (1947) är ej direkt jämförbara med tidigare års resultat. Genom avstängning av den östersjöviken från vilken saltvattnet hämtades sjönk salthalten till knappt hälften av föregående års; till 0.24 % mot tidigare 0.5-0.6 %. Extremt låg nederbörd bidrog till gynnsamma utslag för bevattningen, som dock var lägre för saltvattnet än för sötvattnet. Det bästa resultatet erhöles detta år vid den näst högsta bevattningsintensiteten (40 mm/10:e dag) med 52 % skördeökning i östersjövattenbehandlade och 77 % i sötvattenbehandlade led, vilket motsvarar en mer-skörd av 1900 resp. 2800 kg hö/ha vid jämförelse med det obevattnade ledet.

Bevattningsförsöket på Utö omfattade av tekniska skäl endast bevattning med östersjövatten. En bevattning anpassad till grödans behov och markfuktigheten eftersträvades. I bevattningsgivor om cirka 30 mm tillfördes årligen mellan 122 och 292 mm och totalt under de fyra försöksåren cirka 720 mm östersjövatten. Försöket omfattade upprepningar med ett flertal vallväxtarter i renbestånd, som i vissa fall skördades dels i slätterstadium (2 skördar/år), dels i betesstadium (3-4 skördar/år). Jorden på försöksplatsen, mellansand - grovsand med låg vattenhållande förmåga, måste anses ha ytterst ogynnsamma förutsättningar att tillgodose växternas vattenbehov och utgjorde därför ett tacksamt objekt för bevattning. Bevattningen med östersjövatten, vars salthalt i genomsnitt uppgick till 0.64 %, medförde också ofta mycket starka skördeökningar, dvs den positiva effekten på grödornas vattenförsörjning dominerade över negativa effekter av det tillförda saltet.

För gräsarterna låg den genomsnittliga skördeökningen under fyraårsperioden, vid jämförelse med motsvarande obevattnade led, vid 700-2600 kg ts/ha eller 28-105 %. Ängssvingel, rödsvingel och ängsgröe skördades i betesstadiet gav högsta skördeökningen. Foderlost och hundäxing visade större positivt utslag för bevattningen, då de skördades i slätterstadium (2 skördar/år) än vid skörd i betesstadium (3-4 skördar/år). Krypven och timotej gav ofta negativa utslag och bevattningens värde för dessa arter betecknas därför som tvivelaktig. Med undantag för de båda sistnämnda arterna tilltog bevattningens skördestegrande effekt från år till år och någon negativ verkan av fortlöpande saltanrikning i mark eller gröda kunde inte iakttagas under de 4 år försöket pågick.

Av baljväxterna visade rödklövern stor saltkänslighet. Visserligen erhöles vid första skörd även för denna art en kraftig skördeökning men fortsatt bevattning medförde att beståndet visnade och dog ut. Förhållandet upprepades vid förnyad insådd. Vitklövern gav till en början starkt positiva utslag för bevattningen men den positiva effekten avtog de båda sista försöksåren. Blålusern slutligen förhöll sig som flertalet gräsarter. De positiva utslagen för bevattning tilltog under försökets gång och arten lämnade högsta avkastning det sista försöksåret, såväl i jämförelse med egen avkastning under tidigare år som i jämförelse med samtliga övriga arter det sista året.

På Utö kunde åter observeras, liksom tidigare i Häringe, att bevattningen med östersjövatten tenderade försena beståndets utveckling på våren. Skördenedsättningar i årets först delskörd, som genom positiva utslag i övriga delskördar ej kom till uttryck i total-skörden, förekom i ett flertal fall hos både gräs och baljväxter.

Genom kemiska analyser av skörden har konstaterats att östersjövatten medfört ökad halt av natrium, magnesium och fosfor samt en nedsatt halt kalcium i växten. Näas framhåller betydelsen av att djurens mineraltillförsel kompletteras med hänsyn till den ändrade sammansättningen hos fodret. Fodrets smaklighet för djuren synes däremot ej försämrats, tvärtom anges kreaturen på Utö vid fritt val ha föredragit såväl gräs som baljväxter från bevattnade ytor.

IV. Östersjövattnets användbarhet för bevattningsändamål mot bakgrund av utländska erfarenheter

Vid värderingen av ett vattens användbarhet för bevattningsändamål måste man samtidigt beakta såväl dess koncentration som sammansättning. Har vattnet en högre saltkoncentration än den, som ger en elektrisk ledningsförmåga på 2.25 mmho, kan man enligt Richards (1954) endast undantagsvis räkna med en positiv effekt av bevattning och då endast på salttoleranta grödor, vid stora bevattningsgivor och goda dräneringsförhållanden som medger urlakning. Vattnets sammansättning bedöms med hänsyn tagen till de tidigare anförda skillnaderna mellan olika katjoners inverkan på markstrukturen. Kvoten mellan envärda och tvåvärda joner (me/l) brukar beräknas och uttryckas som (Richards et al 1954):

$$(6) \text{ "Procentuella andelen löst natrium"; } SSP^1) = \frac{Na}{Ca+Mg+Na+K} \cdot 100$$

$$(7) \text{ "Natrium-adsorptions-förhållandet"; } SAR^2) = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

När natriumhalten i vattnet stiger, stiger även värdet för dessa kvoter och risken för strukturförsämring p g a att natrium förtränger och ersätter tvåvärda joner tilltar. De båda uttryckssätten skiljer sig såtillvida, att den relativa jonsammansställningen uttryckt som den procentuella andelen natrium (SSP) kan förbli densamma vid en koncentrationsökning, medan värdet för "natrium-adsorptions-förhållandet" (SAR) växer proportionellt med kvadratroten ur koncentrationsökningen. Fördubblas saltkoncentrationen vid oförändrad saltsammansättning i vattnet blir värdet för SAR exempelvis 1.41 gånger större.

Richards har på empirisk väg funnit goda samband föreligga mellan värdet för SAR i det tillförda vattnet och natriummättnadsgraden i den behandlade jorden. Vid bedömningen av vattnets lämplighet för bevattning anses SAR därför vara det bästa uttrycket för vattnets sammansättning. Efter längre tids bevattning med vatten av konstant jonsammansättning uppger han, att ett jämviktsförhållande inställer sig mellan natriumhalten i det tillförda vattnet och utbytbart natrium i den bevattnade jorden, som kan beräknas enligt formeln:

$$8. \quad \frac{\text{Utbytbart Na (me/100 g jord)}}{\text{Totala katjonbyteskapaciteten (me/100 g jord)}} = \frac{100(-0.0126 + 0.01475 \cdot SAR)}{1 + (-0.0126 + 0.01475 \cdot SAR)}$$

På grundval av vattnets saltkoncentration uttryckt som elektrisk ledningsförmåga och jonsammansställningen uttryckt som SAR har Richards utarbetat ett klassificeringssystem som tillämpat på östersjövattnen visar att detta skulle vara klart undermåligt för bevattningsändamål. Vid en normal salthalt på 6 g/l är elektriska ledningsförmågan i östersjövattnen omkring 8 mmho, dess värde på SAR blir omkring 23 och den natriummättnadsgrad som enligt formel (8) efter kontinuerlig bevattning skulle uppnås i marken, motsvarar omkring 25 procent natrium av totala katjonbyteskapaciteten.

1) Soluble-sodium percentage

2) Sodium-adsorption-ratio

Richards klassificeringssystem har emellertid utsatts för kritik av flera forskare. Man har i praktiken funnit flera exempel på att framgångsrik bevattning genomförts med vatten som haft en elektrisk ledningsförmåga motsvarande östersjövättnets eller t o m högre (Bliss 1942, Boyko 1966, Heiman 1958, Kanwar 1961). Heiman framhåller också som sin åsikt, att SAR är ett mycket tveksamt uttryck för vattnets användbarhet. Magnesiumjonen tillskrives i detta uttryck en gynnsam verkan men leder, enligt Heiman, i själva verket oftast till en försämring av markstrukturen, orsaken kan vara att magnesium förmedlar adsorption av natrium. Kalium lämnas i uttrycket för SAR utan beaktande, vilket Heiman förklarar vara en brist, då denna jon bör tillskrivas betydande positiva effekter, när den förekommer i samma vatten som natriumjonen.

Kelley (1963, 1964a,b,c,) ställer sig i sin tur i flera avseende skeptisk till de uppgifter, som lämnas av såväl Richards som Heiman. En viss natriummättnadsgrad, understryker han, får helt olika effekt på markstrukturen bl.a. beroende på jordens textur och mineralogiska sammansättning. En mängd faktorer inverkar på jonbytesprocesserna i jorden och på de utbytbara jonernas effekt på markstrukturen, några exakta och allmängiltiga regler för ett vattens användbarhet för bevattningsändamål kan därför enligt Kelley inte uppställas.

Ovan återgivna erfarenheter och värderingar av ett salthaltigt vattens användbarhet för bevattningsändamål är hämtade från arida områden. Under de nederbördsförhållanden som då råder, blir salttillståndet i marken i stor utsträckning bestämt av det tillförda vattnets beskaffenhet. Under humida förhållanden blir förutsättningarna för bevattning med salthaltigt vatten delvis andra, eftersom saltanrikning i jorden motverkas av urlakning genom nederbörd. Man kan förvänta och har i viss mån även funnit, att vatten med högre salthalten än de som tillåtes i arida områden med framgång utnyttjats i humida (Gallatin et al 1963, Lunin et al 1960, 1964b; Purvis and Bill 1957). Det framhålls dock, att bevattning med salthaltigt vatten även under humida förhållanden måste ske med försiktighet och bör åtföljas av kontinuerligt företagna markanalyser.

I anvisningar för bevattning med bräckt vatten under humida förhållanden, utarbetade av Lunin et al (1960) på uppdrag av US Department of Agriculture, diskuteras även bevattning med vatten av saltkoncentrationer motsvarande östersjövättnets. Är salthalten 5.12 g/l eller elektriska ledningsförmågan 8 mmho i det för bevattning tillgängliga

vattnet avråder man från bevattning av saltkänsliga grödor, men tillåter för salttolerantare grödor 1-2 bevattningar mellan urlakan- de nederbörd.

V. Sammanfattning

Möjligheten att använda Östersjöns vatten för bevattning av jord- bruks- och trädgårärsgrödor har länge diskuterats. De negativa verk- ningar man kan befara av en sådan åtgärd består i,

- a) en omedelbar eller successiv höjning av markvätskans saltkoncent- ration och förändring av markvätskans saltsammansättning, vilket direkt kan hämma grödans utveckling;
- b) en ökad andel natrium bland de utbytbara jonerna, vilket kan leda till nedbrytning av markstrukturen och därmed till försämrade betingelser för rötternas tillväxt och livsverksamhet.

Salthalten i södra Östersjön uppgår till 0.5-0.8 % (fig. 1), huvud- delen av detta salt (75-80 %) utgöres av koksalt (tabell 1). Enligt normer utarbetade för arida områden kan vatten av denna beskaffen- het inte användas vid bevattning. Korrespondens med forskningsinsti- tutioner i flertalet länder runt Östersjön har givit vid handen, att man där saknar erfarenheter och ställer sig skeptisk till ett utnytt- jande av östersjövatten för bevattning.

Mot detta står uppgifter om gynnsamma resultat av bevattning med vatten motsvarande östersjövattnet i såväl arida som humida områden. I svenska försök har bevattning med östersjövatten givit kraftiga skördeökningar i gräsvallar och då särskilt under utpräglade torr- perioder.

Den i föreliggande uppsats presenterade litteratursammanställningen lämnar inget slutgiltigt och säkert svar på frågan om östersjö- vattnets användbarhet för bevattningsändamål. I avsaknad av resul- tat från en mera omfattande försöksverksamhet inom landet får föl- jande iakttagelser och anvisningar tjäna som vägledning för den, som överväger att bevattna med östersjövatten.

- 1) Risken för en från år till år ackumulerad höjning av markvätskans saltinnehåll är liten under våra nederbördsförhållanden.
- 2) Markvätskans saltinnehåll kan under vegetationsperioden, efter upprepade bevattningar utan mellanliggande nederbörd, lätt nå så höga värden att risk för skadeverkningar på grödan föreligger. För att motverka detta bör man pröva att vattna med tätare intervall, dvs sätta in bevattningen vid högre markfuktighet när östersjövatten

användes än när sötvatten användes. Förutsättningar för en gynnsam salturlakande effekt av stora bevattningsgivor synes däremot knappast föreligga. Man bör nog istället, för att hålla saltkoncentrationen i marken så låg som möjligt, ej tillföra mera vatten än jorden vid varje tillfälle kan magasinera, dvs ej bevattna utöver fältkapacitetsvärdet.

3) Bevattning med östersjövatten påverkar markens jonsammansättning enligt följande:

- a) anrikning av utbytbar Na och Mg,
- b) urlakning av utbytbar Ca,
- c) ingen förändring eller svag ökning av utbytbar K,
- d) ingen förändring eller svag höjning av pH.

4) Förändringarna i markens sammansättning av utbytbara joner innebär risk för strukturförsämring. Risken härför är mindre och ibland obefintlig på lätta jordar med enkelkornstruktur och större på aggregerade jordar. Strukturförsämringen kan motverkas genom tillförsel av kalcium, lämpligast kalciumkälla torde vara gips. En hög mullhalt och extensiv jordbearbetning motverkar strukturskador. Fleråriga betes- och slåttervallar är därför **gynnsamma grödor**.

5) Förändringar i markvätskans jonsammansättning och/eller en ökad saltkoncentration kan inverka menligt på grödans tillväxt. Gödslingen bör utformas med hänsyn till detta. Stallgödsel och andra organiska gödselmedel minskar behovet av handelsgödsel och begränsar därigenom en höjning av markvätskans saltkoncentration. Det senare gäller även för löslig handelsgödsel, som bör tillföras i delade givor istället för i en stor giva. I en saltpåverkad rotmiljö ökar betydelsen av en riklig tillförsel av kalcium, kalium och fosfor, för att ersätta urlakningsförluster och/eller upprätthålla en balanserad växtnäringstillgång. Kalium bör tillföras i klorfria gödselmedel. Eventuell borgödsling bör utelämnas.

6) Stora skillnader föreligger mellan olika grödors reaktion i en saltpåverkad rotmiljö beroende på en ärftligt betingad salttolerans. Sammanställningar över grödors salttolerans utarbetade för arida klimatförhållanden synes gälla även vid bevattning med östersjövatten i vårt land (tabell 8). I första hand bör grödor betecknade som toleranta komma ifråga vid bevattning. Bland övriga grödor har kraftiga skördeökningar i blåusern och vallgräs (undantag timotej och krypven) redovisats i svenska försök.

7) Salttoleransen stiger vanligen med plantans ålder. I regel är plantan särskilt känslig för salt under sitt groddplantstadium och bevattning med östersjövattnen bör undvikas under denna period.

8) En del växter, särskilt fruktträd och bär och då framförallt stenfrukter, tar lätt skada vid en besprutning av bladen, även om vattnet har mycket låg salthalt. Jordgubbe uppges dock vara relativt okänslig i detta avseende.

VI. Litteratur förteckning:

- Ayers, A.D. & Hayward,
H.E. 1948 A method for measuring the effects of soil salinity on seed germination with observations on several crop plants. - Soil Sci. Soc. Am. Proc. 13, 224-226.
- Ayers, A.D. 1952 Seed germination as affected by soil moisture and salinity. - Agr. J. 44, 82-84.
- Batchelder, A.R., Lunin, J. &
Gallatin, M.H. 1963 Saline irrigation of several vegetable crops at various growth stages. II. Effect on cation composition of crops and soils. - Agr. J. 55, 111-114.
- v.d. Berg, C. 1950 The influence of salt in the soil on the yield of agricultural crops. - IV. Int. Congr. Soil. Sci. Trans. Vol 1, 411-413.
- 1952. De invloed van opgenomen zouten op de groei en productie van landbouwgewassen op zoute gronden. - Versl. Landbouwk. Onderz. No 58.5
- Bernstein, L. 1958 Salt tolerance of grasses and forage legumes. - USDA Agr. Inf. Bull. No 194.
- 1959 Salt tolerance of vegetable crops. - USDA Agr. Inf. Bull. No 205.

- _____ 1960. Salt tolerance of field crops. - USDA Agr. Inf. Bull. No 217.
- _____ 1962. Salt-affected soils and plants. - UNESCO, Arid Zone Research XVIII, 139-174.
- _____ 1964. Salt tolerance of plants. - USDA Agr. Inf. Bull. No 283.
- _____ 1965. Salt tolerance of fruit crops. - USDA Agr. Inf. Bull. No 292.
- Bihler, E. 1963 Der Einfluss von salzhaltigem Bewässerungswasser auf den Ertrag und den Chloridgehalt von Blättern einiger Kulturpflanzen unter mitteleuropäischen Verhältnissen. - Dissert. Stuttgart-Hohenheim.
- Bliss, J.H. 1942 Discussion on irrigation water. - Trans. Am. Soc. Civil Eng. 107, 1510-1512.
- Boyko, H. (Editor) 1966. Salinity and aridity. - Hague 1966.
- Deutsche Seewarte. 1927 Atlas für Temperatur, Salzgehalt und Dichte der Nordsee und Ostsee. - Hamburg 1927.
- Dietrich, G. 1950 Die natürlichen Regionen von Nord- und Ostsee auf hydrografischer Grundlage. - Kieler Meeresforschung VII:2, 35-69.
- Ekdahl, I, 1953 Studies on the growth and the osmotic conditions of root hairs. - *Symb. Bot. Upps.* XI:6.
- Gallatin, M.H., Lunin, J. & Batchelder, A.R. 1963 Brackish water irrigation of several vegetable crops in humid regions. - *Agr. J.* 55, 383-386.
- Grillot, G. 1956 The biological and agricultural problems presented by plants tolerant of saline or brackish water and the employment of such water for irrigation. - UNESCO, Arid Zone Research IV, 9-36.
- Gripenberg, S. 1960 On the alkalinity of Baltic waters. - *Journ. Cons.* 26:1, 5-20.

- Hallgren, G. 1944 On the physical and chemical effects of saline irrigation water on soils. - Ann. Agr. College of Sweden, 12, 23-50.
- 1959. Irrigation with sea water in Sweden. - Conf. Suppl. Irrigation. Int. Soc. Soil Sci. Comm. VI, 111-113.
- Hayward, H.E. & Bernstein, L. 1958 Plant-growth relationships on salt-affected soils. - Bot. Rev. 24, 584-635.
- Heiman, H. 1958 Irrigation with saline water and the ionic environment. - Pot. Symp. V, 171-220.
- Kanwar, J.S. 1961 Quality of irrigation water as an index of its suitability for irrigation purposes. - Pot. Rev. 24:13, 1-13.
- Kelley, W.P. 1963 Use of saline irrigation water. - Soil. Sci. 95, 385-391.
- 1964a Review of investigations on cation exchange on semiarid soils. - Soil Sci. 97, 80-88.
- 1964b Maintenance of permanent irrigation agriculture. - Soil Sci. 98, 113-116.
- 1964c Soil properties in relation to exchangeable cations and kinds of exchange materials. - Soil Sci. 98, 408-412.
- Lunin, J., Gallatin, M.H., Bower, C.A. & Wilcox, L.V. 1960 Use of brackish water for irrigation in humid regions. - USDA Agr. Inf. Bull. No 213.
- Lunin, J., Gallatin, M.H. & Batchelder, A.R. 1964a Interactive effects of base saturation and exchangeable sodium on the growth and cation composition of beans. - Soil Sci. 97, 25-32.
- 1964b Effects of supplemental irrigation with saline water on soil composition and on yields and cation content of forage crops. - Soil Sci. Soc. Am. Proc. 28, 551-554.

- Nääs, O. 1948 Redogörelse och sammanställningar från jämförande försök med bevattning av betesvall med östersjövatten resp. grundvatten 1944-47. - Stenciler. Inst. f. lantbrukets hydroteknik, Uppsala 7.
- 1957 Undersökningar rörande möjligheterna att utnyttja Östersjöns vatten för bevattning av betes- och slätterväxter. - Särtryck ur Grundförbättring 1956-57.
- Purvis, E.R. & Brill G.D.
 1957 Can use brackish water to irrigate some crops. - New Jersey Agr. 39:1, 11-13.
- Richards, L.A. (Editor)
 1954 Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. - USDA Agr. Handbook No 60.
- Strogonow, B.P. 1964 Physiological basis of salt tolerance of plants. - Jerusalem 1964.
- Svenska Fyrskottsundersökningar 1931-39. - Sv. Hydr. - Biol. Komm.
 ————— 1965 Ser. Hydrography, Report No 17
- Verhoeven, B. 1949 Återvinning av översvämmade åkerområden i Nederländerna med särskild hänsyn till jordens avsaltning. - Grundförbättring, årg. 3, 114-125.
- 1953 Over de zout- en vochtshouding van geïnundeerde gronden. - Wageningen 1953.
- 1964 Leaching of sodic soils as influenced by application of gypsum. - Proc. Symp. Sodic Soils Budapest 1964, 263-268.
- Wærn, M. 1965 A vista on the marine vegetation. - Acta Phytogeogr. Suecia 50, 15-28.
- Westerhof, J.J. 1950 Restoration of the structure of inundated areas in the Netherlands. - IV Int Congr. Soil Sci. Trans. Vol 1, 415-418.

- Wiklander, L. 1965 Marklösningens sammansättning och ekologiska betydelse. - Grundförbättring, årg. 18, 71-88.
- Wilcox, L.V. 1960 Boron injury to plants. - USDA Agr. Inf. Bull. No 211.